

Análise da Performance Aeroportuária por meio de Resultados Empregando a Ferramenta DEA

Eliseu Zednik Ferreira

Rodrigo A. Scarpel

Divisão de Engenharia de Mecânica-Aeronáutica

Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Resumo — O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho de alguns dos principais aeroportos brasileiros e internacionais. Baseado na escolha previa de alguns critérios, procurou-se tratá-los por meio de uma ferramenta matemática denominada Data Envelopment Analysis (DEA). Os dados foram implementados posteriormente no SIAD V.2.0. (Sistema Integrado de Apoio à Decisão, Versão 2.0) para determinar qual é o aeroporto menos eficiente de acordo com os critérios apresentados. Este procedimento servirá para posteriores estudos comparativos com outros aeroportos de baixa produtividade, com vista a auxiliar na identificação e na melhoria contínua dos níveis mínimos de serviços que são prestados.

Palavras-chaves — análise de desempenho, DEA, SIAD, melhoria contínua, produtividade.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é analisar a eficiência de aeroportos de acordo com alguns critérios que serão apresentados ao utilizar a metodologia do DEA (Data Envelopment Analysis), uma ferramenta de análise e identificar o gargalo da operação de alguns elos ineficientes da rede aeroportuária.

Durante a última década, o tráfego aéreo regular mundial cresceu cerca de 72% e a quantidade de carga transportada aumentou em 96% , nesse mesmo período. É o que reporta a “*Internacional Civil Aviation Organization*” (ICAO), ao tornar público o movimento das empresas de transporte aéreo dos 162 países-membro daquela Organização. [1] Alguns trabalhos relacionados a estudos de eficiência em gestão aeroportuária internacionais abrangem países como: Reino Unido, Alemanha, França e Holanda na Europa, Estados Unidos e Canadá na América do norte e Japão e Coreia do Sul na Ásia. Estes países citados conseguiram alcançar um alto desempenho, pois possuem condições de operar com altos índices de demanda de mercado e utilizam mais o serviço de transporte aéreo. [2]

Contudo, o fato de o aeroporto localizar-se em país desenvolvido não quer dizer que seja eficiente. Por exemplo, *Heathrow*, localizado em Londres, é considerado o pior aeroporto do mundo, pois oferece um dos piores serviços de transporte aéreo do mundo. Os maiores problemas encontrados são as longas filas de espera, decolagens atrasadas, milhares de malas perdidas diariamente e ainda ameaças de terrorismo, falta de investimentos e aumento do tráfego de passageiros. O aeroporto recebe 70 milhões de pessoas por ano, em estruturas que estão preparadas para receber apenas 45 milhões de pessoas. [3]

No Brasil, investimentos na infra-estrutura são essenciais para manter uma boa qualidade nos serviços de transporte aéreo. É necessário direcionar esforços no planejamento e no controle dos principais índices de desempenho, buscando sempre o nível ideal de serviço para o bom atendimento dos clientes deste modal. O mapeamento da cadeia logística aeroportuária pôde verificar a importância da filosofia Just In Time e aplicação da Teoria das Restrições no gerenciamento das dificuldades dos processos desta Rede (JIT, 2009).

Existem 33 terminais de cargas espalhados pelo Brasil, nos quais o volume de carga de importação e exportação evolui constantemente. O relatório semestral divulgado pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) relativo ao primeiro semestre de 2008, mostra que a quantidade de toneladas por quilômetros oferecidas e utilizadas é respectivamente 2.928.489.319 e 1568.146.997 [3]. Nesse ponto, o estudo de caso deste artigo torna-se importante aplicando a ferramenta DEA para determinar o elo da cadeia aeroportuária de menor eficiência, identificando os pontos fortes e fracos da cadeia logística aeroportuária.

Observa-se que existe uma disponibilidade de aproximadamente 55% do transporte aéreo para atendimento da demanda. [4] Em contra partida, “o papel da logística torna-se essencial para identificar a necessária atenção em termos de infra-estrutura, pois a proposta atual é verificar possíveis maneiras de aumentar a capacidade do aeroporto” informa Carlos Alberto C. Alcântara, gerente de logística da Infraero.

II. METODOLOGIA

A. A metodologia DEA (*Data Envelopment Analysis*)

1) Análise de Envoltória de Dados: é um método recente que pode analisar a eficiência das operações de uma empresa, considerando alguns critérios dentro do seu ramo de atuação, como por exemplo: avaliar se um aeroporto tem um bom índice de desempenho dentre um determinado grupo de aeroportos [1]. O DEA utiliza uma avaliação por meio de cálculos matemáticos de programação linear, atribuindo valores de variáveis e restrições. Para ilustrar o método, considera-se um grupo de três aeroportos. Simplificando a questão que cada aeroporto converte duas entradas (*inputs*) em três diferentes saídas (*output*). Assume-se que os inputs usados para cada aeroporto são:

Input 1 = PISTAS (quantidade de pistas)

Input 2 = ATC (área do terminal de passageiros)

Os *outputs* produzido por cada aeroporto são:

- Output 1* = quantidade de decolagens e pousos
- Output 2* = quantidade de passageiros
- Output 3* = volume de cargas nos terminais de passageiros

Supondo que os *inputs* e *outputs* para os três aeroportos são obtidos conforme Tabela 1. Para determinar qual é o aeroporto mais eficiente vamos definir A_r = Eficiência do aeroporto r ; u_r = peso atribuído ao *output* r , t_r = preço ou valor unitário do *output* r , v_i = peso atribuído ao *input* i , w_i = preço ou custo unitário do *input* i . A eficiência do aeroporto é definida conforme formulação matemática abaixo [4]:

$$A_r = \frac{\sum_1^3 u_r t_r}{\sum_1^2 v_i w_i} \quad (1)$$

Onde: $r = 1, 2, \dots, m$; $i = 1, 2, \dots, n$

Para ilustrar, encontramos a eficiência de cada aeroporto, conforme pesos dos *inputs* e *outputs* da tabela 1 seguida da seguinte formulação matemática:

Tabela 1: Inputs e Outputs dos Aeroportos

aeroportos	Inputs		outputs		
	1	2	1	2	3
1	5	14	9	4	16
2	8	15	5	7	10
3	7	12	4	9	13

Fonte: Operation Research [4]

2) Formulação matemática:

Eficiência do Aeroporto 1: $A_1 = \frac{9t_1 + 4t_2 + 16t_3}{5w_1 + 14w_2} = 1$

Eficiência do Aeroporto 2: $A_2 = \frac{5t_1 + 7t_2 + 10t_3}{8w_1 + 15w_2} = 0,773$

Eficiência do Aeroporto 3: $A_3 = \frac{4t_1 + 9t_2 + 13t_3}{7w_1 + 12w_2} = 1$

Os valores obtidos por PL (programação linear) por meio do modelamento matemático (2) e (3) para o cálculo da eficiência com o programa SIAD foram:

-Eficiência do Aeroporto 1= 100%
 $t_1=0$; $t_2=0$; $t_3=0,625$; $w_1=0$; $w_2=0,07142857$

-Eficiência do Aeroporto 2= 77,33%
 $t_1=0,08$; $t_2=0,05333333$; $t_3=0$; $w_1=0$; $w_2=0,6666667$

-Eficiência do Aeroporto 3= 100%
 $t_1=0$; $t_2=0,00905797$; $t_3=0,07065217$; $w_1=0$; $w_2=0,08333333$

Estes resultados indicam que os aeroportos 1 e 3 são eficientes com 100% e o aeroporto 2 é ineficiente com 77,33%.

3) Origem e o primeiro Modelo Proposto:

Ela foi desenvolvida na década de 1970 por Charnes et al (1978) e hoje é amplamente utilizada em trabalhos científicos. A DEA, Análise Envoltória de Dados, é capaz de comparar a produtividade de uma classe de empresas e órgãos públicos, servindo de instrumento de aferição do desempenho global através da mensuração da eficiência dos recursos empregados determinados aplicando-se técnicas de programação linear. [2]

O primeiro artigo proposto foi divulgado no *European Journal Research* intitulado *Measuring the efficiency of decision making units*.

Dessa forma, a DEA permite avaliar a eficiência de um aeroporto (DMU - *Decision Making Units*, na terminologia DEA) relacionando a razão entre a produção real obtida e a possível de ser alcançada. Os recursos disponíveis são: os *inputs* (insumo) e os *outputs* (resultados alcançados).

A modelagem matemática original CCR pode ser assim apresentada (CERETTA e NIEDERAUER, 2000):

$$Max h_k = \frac{\sum_{r=1}^m u_r t_r^{j0}}{\sum_{i=1}^n v_i w_i^{j0}} \quad (2)$$

$$Sujeito a: \frac{\sum_{r=1}^m u_r t_r^j}{\sum_{i=1}^n v_i w_i^j} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

Onde:

Onde h_k = função objetivo; u_r = peso atribuído ao output r ; v_i = peso atribuído ao input i ; w_i^j = é o input i da DMU j ; t_r^j = é o output r da DMU J ; $j0$ = número da DMU que está sendo analisada e s é o número de DMUs sendo analisadas.

4) Programa SIAD de análise de dados:

A finalidade da DEA é medir a eficiência de unidades tomadoras de decisão, designadas por DMUs (*Decision Making Units*), na presença de múltiplos *inputs* (entradas, fatores de produção ou recursos) e múltiplos *outputs* (saídas ou produtos). A eficiência relativa de uma DMU é definida com sendo a razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) e pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*). O programa utilizado para a aplicação do método foi o software SIAD V.2.0. (Sistema Integrado de Apoio à Decisão, Versão 2.0).

III. APLICAÇÃO DO MODELO

A seleção dos critérios foi baseada em estudos anteriores de artigos que serviram de referência para esta avaliação, em concordância com estudiosos da área de infra-estrutura aeroportuária.

Dessa forma, diante do vasto número de fatores encontrados na literatura e das características do transporte de carga aérea Mundial, houve a necessidade de determinar a seleção dos critérios conforme a tabela 2 a seguir [7]:

Tabela 2: Dados dos critérios aeroportuários

	CRITÉRIOS	SIGLA
1	Comprimento básico da maior pista	(PISTA)
2	Número de pistas de pouso	(RNW)
3	Posições no pátio de estacionamento	(BOX)
4	Área do terminal de carga exportação	(ATC EXP)
5	Área do terminal de carga importação	(ATC IMP)
6	Área do terminal de carga fria	(ATC FRI)
7	Companhias aéreas presentes	(CIA)
8	Volume de carga	(VOLCARG)
9	Automatização do armazenamento	(POSARM)
10	Movimento anual de aeronaves	(MOVANV)
11	Acessibilidade aos mercados	(RODOVIA)
12	Área Total	(AREA TOTAL)
13	Total de passageiros	(TOTAL PAX)

Considerando a metodologia apresentada, aplicou-se a ferramenta DEA para avaliar a eficiência relativa (DMU) em alguns dos principais aeroportos metropolitanos, conforme Tabela 3. Analisando os dados disponíveis de recursos (*inputs*: PISTAS, RNW, BOX, ATC, PAX, AREA TOTAL) e os resultados alcançados (*outputs*: MOVANV, VOLCARG, TOTAL PAX), foram selecionados cinco aeroportos Internacionais: TPA (Aeroporto de Tampa), CYYC (Aeroporto de Calgary), CYVR (Aeroporto de Vancouver), CYYZ (Aeroporto de Toronto), CYMX (Aeroporto de Montreal) e sete Nacionais: SBBR (Aeroporto de Brasília), SBSV (Aeroporto de Salvador), SBSP (Aeroporto de Congonhas), SBGR (Aeroporto de Guarulhos), SBKP (Aeroporto de Campinas), SBGL (Aeroporto do Galeão) e SBEG (Aeroporto de Manaus).

Tabela 3: Critérios Pré-selecionados Selecionados

IDENTIFICAÇÃO DO AEROPORTO	PISTAS (input)	RNW (input)	BOX (input)	ATC (input)	ÁREA DE PAX (input)	AREA TOTAL (input)	MOVANV (output)	VOLCARG(Ton) (output)	TOTAL PAX (output)
TPA	3.353	3	75	22.300	174.374	22.300	257.807	120.317	18.867.541
CYYC	3.863	3	45	54.812	123.000	54.812	214.583	116.000	9.175.809
CYVR	3.505	5	108	96.200	255.000	37.300	322.396	223.071	16.929.223
CYYZ	3.389	5	141	84.575	251.054	18.100	403.424	288.000	28.655.526
CYMX	3.658	3	64	135.000	72.720	13.250	205.432	242.193	9.400.000
SBBR	3.300	2	32	78.000	90.100	28.995	129.979	65.777	9.926.786
SBSV	3.005	2	24	69.750	69.750	6.473	81.365	72.956	4.145.371
SBSP	1.940	2	23	37.000	64.579	1.647	217.782	37.890	12.940.193
SBGR	2.671	2	66	64.752	179.790	13.774	154.948	419.848	15.759.181
SBKP	2.372	3	17	70.158	30.000	17.659	24.584	233.699	826.246
SBGL	3.469	2	53	41.800	280.681	14.000	100.895	78.139	8.856.527
SBEG	2.700	1	15	9.464	46.266	14.050	31.273	131.475	1.689.817

Fonte: Infraero (2006), IBGE (2006) AIP (2007), DNIT (2007) e IATA (2009).

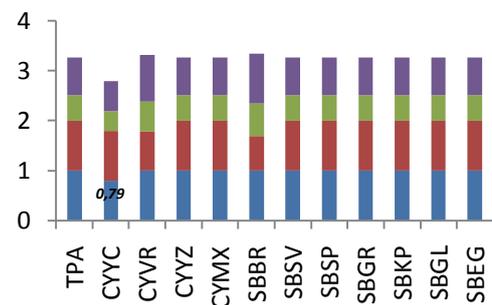
Obs.: Os dados acima consultados podem não refletir os dados reais, apenas servem para aplicação da DEA. Também foi variação de escala constante no modelo, podendo servir de estudos mais aprofundados posteriores a este trabalho.

Na Tabela 4, são mostrados os resultados do Ranking de eficiências padrão dos aeroportos, conforme saída do programa SIAD

Tabela 4: Resultados de eficiências do SIAD

DMU	Padrão
TPA	1
CYYC	0,79
CYVR	1
CYYZ	1
CYMX	1
SBBR	1
SBSV	1
SBSP	1
SBGR	1
SBKP	1
SBGL	1
SBEG	1

Figura 1: Apresentação gráfica da eficiência



Fonte: Excel

Mas ainda é possível minimizar o numero de critérios, pois se verificou a existência de correlação (os cálculos de correlação não são apresentados neste trabalho, podendo servir de estudos em trabalhos futuros) entre alguns critérios: os inputs BOX e PISTA e os outputs ATC e AREA PAX. Sendo os dados reorganizados para a realização de uma nova análise de eficiência.

Na Tabela 5, retirou-se o critério BOX, multiplicaram-se os critérios PISTAS x RNW e em colocou-se o foco na análise de dois *outputs*: TOTALPAX e VOLCARG, com a intenção de diminuir a quantidade de interações e para articulação dos critérios.

Tabela 5: critérios reorganizados

IDENTIFICAÇÃO DO AEROPORTO	PISTAS (input) x RNW (input)	ÁREA PAX (input)	AREA TOTAL (input)	TOTAL PAX (output)
TPA	10059	174.374	22.300	18.867.541
CYYC	11589	123.000	54.812	9.175.809
CYVR	17525	255.000	37.300	16.929.223
CYYZ	16945	251.054	18.100	28.655.526
CYMX	7316	72.720	13.250	9.400.000
SBBR	6600	90.100	28.995	9.926.786
SBSV	6010	69.750	6.473	4.145.371
SBSP	3880	64.579	1.647	12.940.193
SBGR	5342	179.790	13.774	15.759.181
SBKP	7116	30.000	17.659	826.246
SBGL	6938	280.681	14.000	8.856.527
SBEG	8100	46.266	14.050	1.689.817

Fonte: Excel

O programa SIAD mostrou que a DMU mais eficiente é SBSP e a menos eficiente é SBKP, conforme Tabela 6 (abaixo):

Tabela 6: Ranking de eficiência

Eficiências	
DMU	Padrão
TPA	0,56
CYYC	0,37
CYVR	0,33
CYYZ	0,57
CYMX	0,65
SBBR	0,55
SBSV	0,30
SBSP	1,00
SBGR	0,88
SBKP	0,14
SBGL	0,38
SBEG	0,18

Figura 2: Porcentagem de Eficiência X Aeroporto

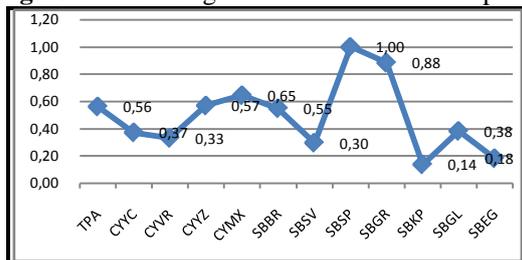


Tabela 7: critérios reorganizados

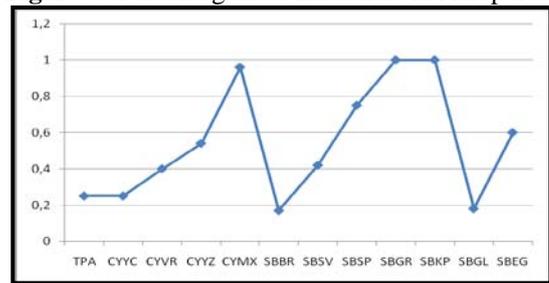
IDENTIFICAÇÃO DO AEROPORTO	PISTAS (input) x R/W (input)	ÁREA PAX (input)	ÁREATOTAL EX (input)	VOLCARG (output)
TPA	10059	174.374	22.300	120.317
CYYC	11589	123.000	54.812	116.000
CYVR	17525	255.000	37.300	223.071
CYYZ	16945	251.054	18.100	288.000
CYMX	7316	72.720	13.250	242.193
SBBR	6600	90.100	28.995	65.777
SBSV	6010	69.750	6.473	72.956
SBSP	3880	64.579	1.647	37.890
SBGR	5342	179.790	13.774	419.848
SBKP	7116	30.000	17.659	233.699
SBGL	6938	280.681	14.000	78.139
SBEG	8100	46.266	14.050	131.475

Tabela 8: Ranking de eficiência

Eficiências	
DMU	Padrão
TPA	0,25
CYYC	0,25
CYVR	0,40
CYYZ	0,54
CYMX	0,96
SBBR	0,17
SBSV	0,42
SBSP	0,75
SBGR	1,00
SBKP	1,00
SBGL	0,18
SBEG	0,60

Na Tabela 8 (acima) os aeroportos mais eficientes são: SBGR e SBKP e o menos eficientes: SBBR. Comparando os inputs e outputs para TOTALPAX (Figura2) e VOLCARG (Figura3), observou-se que ao analisar o aeroporto de Campinas (SBKP), o mesmo é muito eficiente em transporte de carga, mas em relação a transporte de passageiros é ineficiente.

Figura 3: Porcentagem de Eficiência X Aeroporto



Assim, a DEA possibilita determinar a eficiência local de algumas DMUs, considerando critérios específicos de produção (TOTALPAX e VOLCARG), podendo contribuir para posteriores estudos com outras articulações e implementações da ferramenta DEA.

IV. CONCLUSÃO

- O DEA determinou os resultados das ineficiências dos aeroportos que estão localizados abaixo da fronteira de eficiência.
- Identificam-se por intermédio do emprego de DEA, os aeroportos eficientes, que estão localizados na fronteira de eficiência e que apresentam melhores desempenhos.
- Analisando os resultados obtidos, foi possível:
 - Identificar os aeroportos eficientes no uso de seus inputs para gerar outputs;
 - A importância de levantar os critérios de interesse daquilo que se pretende medir e implementar os dados numa metodologia científica.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia DEA mostra-se apropriada para a avaliação de eficiência, realizando cálculos matemáticos por programação linear. Portanto, a ferramenta pode ter uma aplicação útil em outros ambientes operacionais da FAB que necessitem de cálculo da eficiência global, podendo ser implementado, em estudos posteriores a esse trabalho, outros modelos de análise.

REFERÊNCIAS

- [1] MENEZES, Lauro Rey. "Demanda versus Capacidade". Revista Aeronáutica, n. 267, 2009.
- [2] CURIEL, Marcos Ramón Flores. *Modelo de gestão Aeroportuária para os Aeroportos Venezuelanos Resultante do Diagnóstico Empregando a Ferramenta DEA*. 2005.252f. Tese de Doutorado-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [3] WebSite: <<http://opinioenoticia.com.br/internacional/aeroportos-ingleses-o-inferno-sobre-asas>>. Acesso em 06 de julho de 2009.
- [4] WILSTON, Wayne L. Operations Research, 3rd ed. *Applications and Algorithms*. ITP, 1993.
- [5] CUNHA Bruno Tonioni, DE MELLO João Carlos Correia Baptista Soares. MEZA Lidia Ângulo. *Implementação Computacional de Seleção de Variáveis em DEA: um Estudo de Caso em Avaliação Educacional*. Universidade Federal Fluminense, RJ, Brasil, 2004.
- [6] J. C. C. B. Soares de Mello; E. G. Gomes; M. H. C. Soares De Mello; M. P. Estellita Lins; *Método Multicritério para Seleção de Variáveis em Modelos DEA*, Revista de Pesquisa Naval, Rio de Janeiro, v.15, p. 55-66, 2002.
- [7] OLIVEIRA, Daniele S. CORREIA, Anderson R. Artigo: *Estudo do Desempenho Operacional dos Aeroportos Brasileiros Relativo ao Movimento de Cargas*, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007.